Informe Técnico

Gestión del almacenamiento de la pila de concentrado de Minera Panamá, gestión del riesgo, monitoreo y control.

Elaborado por,
Nathaniel Jean-Francois
Superintendente Planta Filtración de Concentrado de Cobre

1. Antecedentes

Minera Panamá cuenta dentro de sus instalaciones con la infraestructura, que es una galera techada, para almacenar temporalmente el concentrado de cobre producido después de sus procesos operativos. El concentrado corresponde al mineral molido con mayor cantidad de metal valioso y se compone de elementos como el cobre en ~27 %, hierro ~30 %, Azufre ~33 %; y otros como el Sílice, Zinc y Molibdeno en menor porcentaje, asociados principalmente como los siguientes especímenes mineralógicos; Calcopirita ($CuFeS_2$) ~79%, Pirita (FeS_2) ~11 %, y en menor porcentaje Molibdenita (MoS_2) e insolubles (Silicatos, Carbonatos, Óxidos de cobre, etc.).

En y durante las operaciones comerciales, esta infraestructura o galera almacena temporalmente el concentrado de cobre por 2 a 3 semanas hasta que este sea embarcado y exportado, el almacén tiene una capacidad máxima de 100,000 toneladas en condiciones normales.

2. Estado actual de la pila de concentrado

Después del último embarque de concentrado, el 31 de octubre de 2023, el almacén quedo con un inventario de 50 mil toneladas, con exportación programada para el 1 noviembre de 2023.

Debido a las restricciones de tránsito y bloqueo ilegal del terminal 2 del puerto internacional de Punta Rincón desde inicios de noviembre de 2023, los despachos de concentrado se interrumpieron, haciendo que el inventario de concentrado de cobre almacenado en la galera se acumulase hasta finales de noviembre sobrepasando su capacidad máxima, llegando a 132 mil toneladas de concentrado con una humedad promedio inicial de 8.7%. El acopio de concentrado se da en apilamiento, dicha pila de concentrado tiene una extensión de alrededor de 180 metros y con alturas cercanas a los 14 metros, las secciones de la pila más antiguas se consideran con alrededor de 4 meses de almacenamiento (desde inicios de octubre) convirtiéndose en un cuerpo significante de mineral molido con alto contenido metálico, en donde se evidencia perdida de humedad, aumento de temperaturas y emanación de gases.

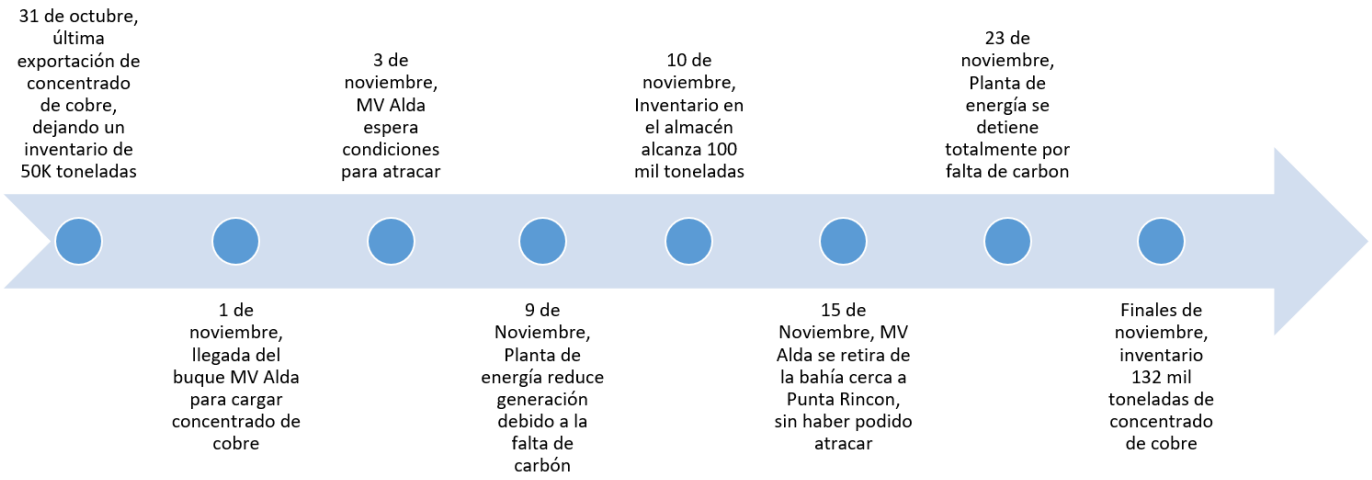
31 de octubre, última exportación de concentrado de cobre, dejando un inventario de 50K toneladas
1 de noviembre, llegada del buque MV Alda para cargar concentrado de cobre
3 de noviembre, MV Alda espera condiciones para atracar
9 de Noviembre, Planta de energía reduce generación debido a la falta de carbón
10 de noviembre, Inventario en el almacén alcanza 100 mil toneladas
15 de Noviembre, MV Alda se retira de la bahía cerca a Punta Rincon, sin haber podido atracar
23 de noviembre, Planta de energía se detiene totalmente por falta de carbon
Finales de noviembre, inventario 132 mil toneladas de concentrado de cobre

Figura 1. Línea de Tiempo, eventos de la pila de concentrado

Figura 2. Vista frontal de Este hacia Oeste de la pila de concentrado

Esta infraestructura de almacenamiento no está diseñada para almacenar el material por largos periodos de tiempo, sino que se considera un depósito temporal (no más de 3 semanas en operación normal) hasta su despacho/exportación, por lo que hay riesgos asociados al almacenarlo durante un tiempo prolongado, particularmente bajo las condiciones de temperaturas y humedades de la zona costera caribeña.

La ficha de datos de seguridad del concentrado de cobre recomienda que, para casos inusuales de periodos largos de almacenamiento del material, se realice constante monitoreo de la temperatura de la pila debido al calor generado por la oxidación del material dentro de la misma (Autocalentamiento). El material al contener humedad, azufre y temperatura causa la oxidación del concentrado generando una reacción exotérmica y liberando gases como el sulfuro de hidrógeno (H2S), altamente tóxicos e inflamables; Dióxido de Azufre (SO2) también puede generarse a raíz del proceso de oxidación.

Las siguientes reacciones se pueden generar en la pila de concentrado dependiendo de las concentraciones de azufre y dentro de condiciones de presión y alta temperatura. A su vez estas reacciones liberan calor por lo cual incrementan aún más la temperatura generando un calor especifico del concentrado elevado en el interior de la pila de concentrado.

- Reacción de la Calcopirita

$$2CuFeS_2 + 7H_2O = Cu_2O + 2Fe(OH)_3 + 4H_2S$$

Calcopirita + Agua = Oxido de Cobre + Hidróxido de Hierro + Sulfuro de Hidrogeno

- Reacción de la Pirita

$$FeS_2 + H_2O = Fe_2O_3 + H_2 + H_2SO_4$$

Pirita + Agua = Óxido de Hierro + Di hidrogeno + Sulfato de Hidrogeno

$$FeS_2 + H_2SO_4 = Fe(SO_4)_3 + H_2S + H_2O$$

Pirita + Sulfato de Hidrogeno = Sulfato de Hierro + Sulfuro de Hidrogeno + Agua(vapor)

De acuerdo a la hoja de seguridad se procedió a implementar controles y monitoreo, dentro de lo cual implicaba toma de muestras para la verificación de humedades, monitoreo de temperatura de la pila y medición de gases dentro de la galera. A raíz de estas implementaciones se detectan a finales del mes de diciembre una disminución en el porcentaje de humedad del concentrado, aumento de temperatura en la pila de concentrado, coloración diferente del concentrado en el interior de la pila (oxidación) y presencia de gases con contenidos de azufre dentro de la galera de almacenamiento.

3. Evidencias iniciales

Al realizar el monitoreo de la humedad del concentrado se evidencia una disminución de 1.5 % desde que se detuvieron las operaciones, varias muestras de la pila se encontraban entre 6% y 7% de humedad en comparación con la humedad inicial después del filtrado del concentrado de 8.7%.

Figura 3. Prueba de contenido de humedad

La temperatura a nivel superficial de la pila llegó a más de 40 grados centígrados, y después de realizar una medición a media altura y a una profundidad de alrededor de un metro, se evidencio 75 grados centígrados mediante una cámara de termografía.

Figura 4. Temperatura dentro de la pila de concentrado

De la misma forma al realizar los muestreos de material se evidenció el cambio de coloración del concentrado al interior de la pila. Después de remover la capa superficial entre 20 a 30 cm, el concentrado de cobre se tornaba en un color cercano al marrón, mostrando coloración similar a óxidos de hierro, producto de la separación de la pirita.

Figura 5. Coloración del concentrado

4. Monitoreo de Humedad y Temperatura

La medición de humedad se realiza mediante muestreos del concentrado y enviándose a laboratorio para determinar cuánta agua contiene el material. Esta determinación de humedad se realiza de forma recurrente durante las operaciones comerciales, y actualmente se realiza durante la etapa de preservación. En la Figura 6 se puede observar la variación de la humedad en el concentrado de las pruebas realizadas a las muestras que se realizan dos veces por semana.

Cabe destacar que esta humedad, o contenido de agua del concentrado usualmente se encuentra encima de 8%, el cual es primordial para su transporte y embarque, ya que al ser partículas muy finas (P80<60 µm) podrían volar y liberarse con la brisa del viento si es que se encontraran totalmente secas. El promedio de humedad a inicios de noviembre se encontraba en 8.7%; ahora, de acuerdo con los datos obtenidos de laboratorio, la humedad superficial ha disminuido gradualmente en la pila de concentrado, teniendo actualmente cercanos al 2% de humedad.

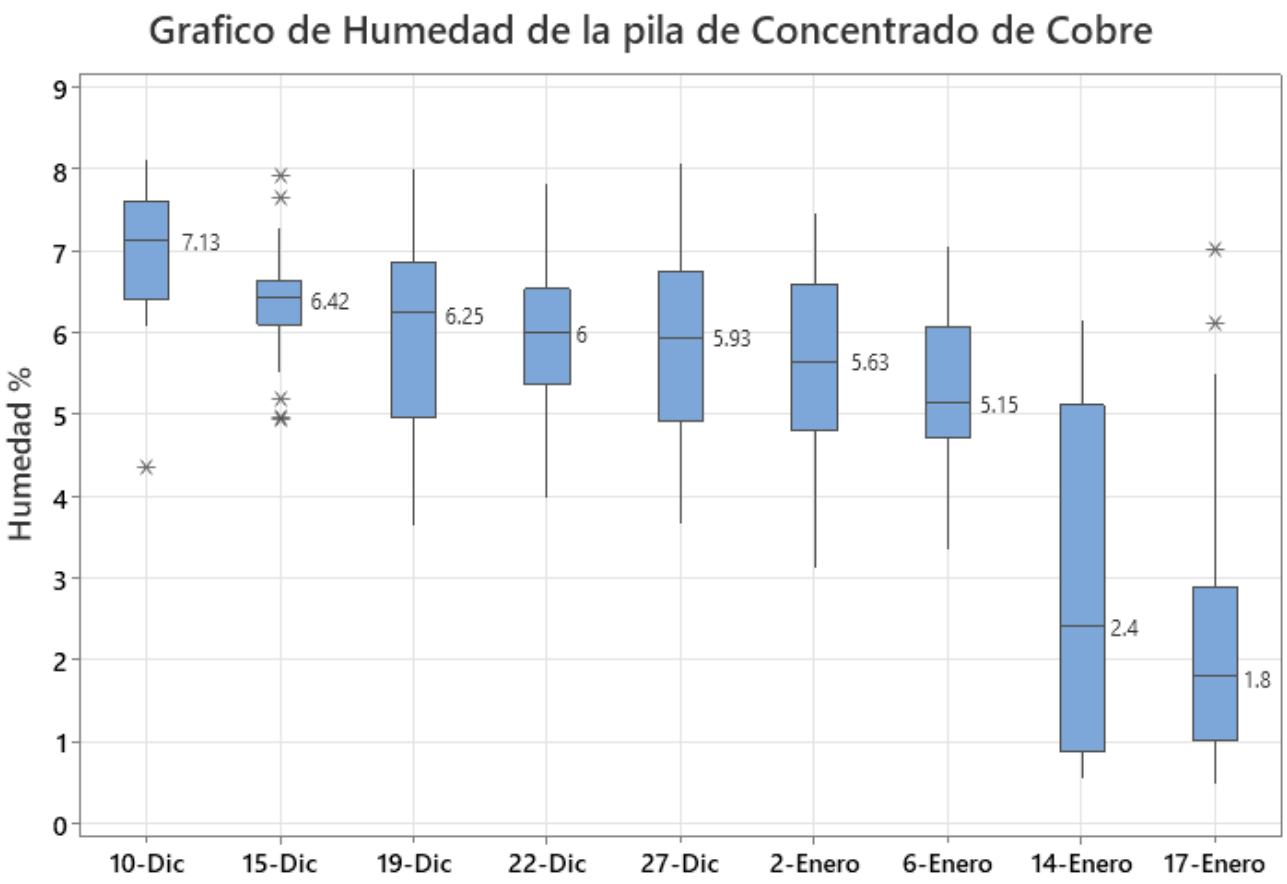

Figura 6. Variación del contenido de humedad

Para el monitoreo de temperatura se identifica una malla sobre el perfil lateral sur de la pila de concentrado, donde se definen los puntos para monitorear las variaciones. La siguiente imagen (Fig. 7) hace referencia a la temperatura superficial de la pila con datos tomados el 13 de enero de 2024.

La gráfica de la figura 8 muestra los registros de temperatura superficial en diferentes fechas, evidenciando el incremento de la temperatura a lo largo de toda la pila con el paso del tiempo.

Dicha tendencia es una evidencia física de que existe un incremento continuo de temperatura no solo superficial sino también, y aun mayor, en su interior. Mientras este material se mantenga apilado en el almacén continuará su proceso de autocalentamiento explicado ya en este reporte técnico.

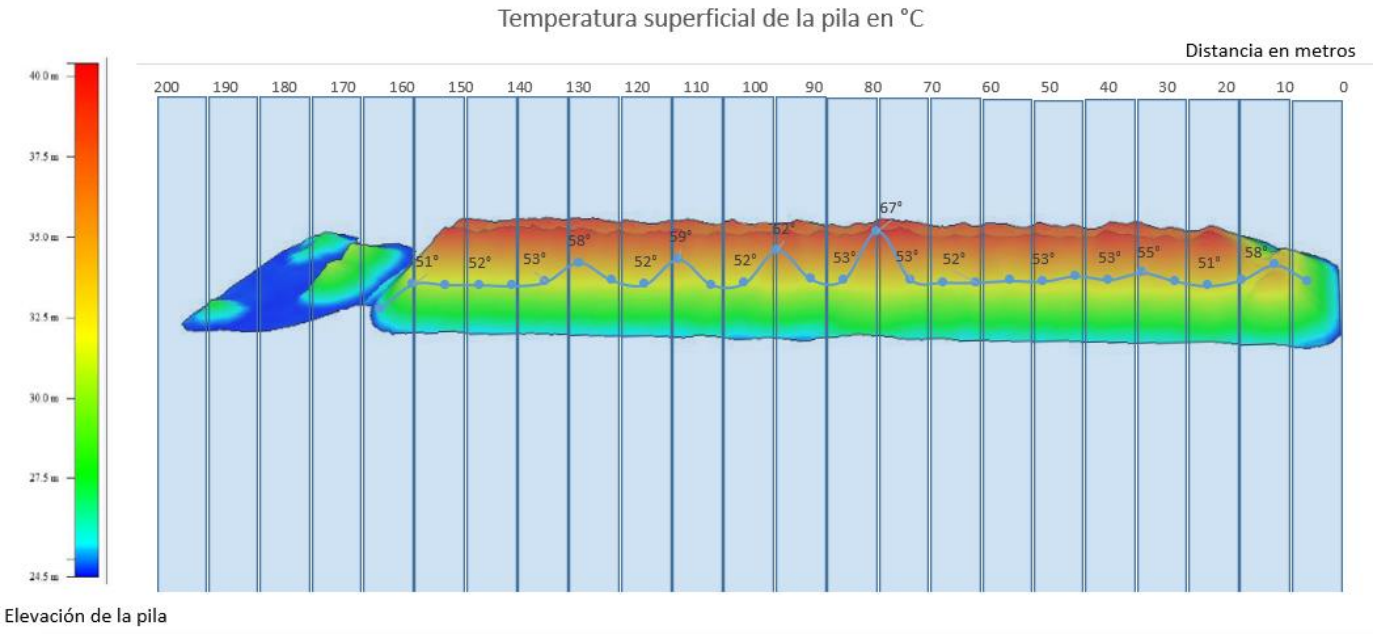

Figura 7.Elevacion y Perfil de temperatura superficial a lo largo de la pila

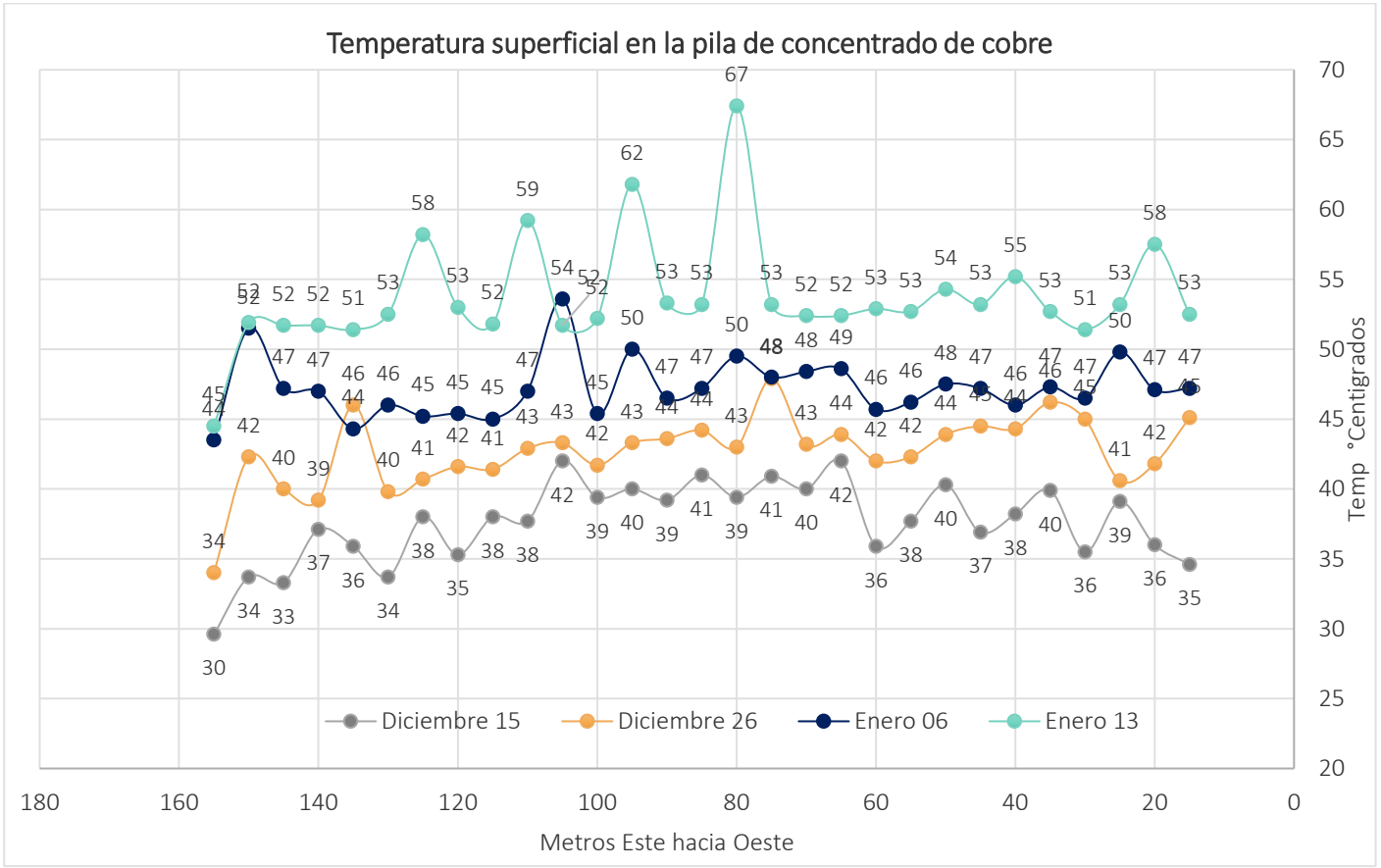

Figura 8 Variación de temperatura en el tiempo

Adicionalmente se procedió a monitorear la temperatura a un metro de profundidad en hoyos identificados en toda la extensión de la pila para registrar la temperatura en el material acumulado y confirmar el hecho de un mayor calentamiento hacia el interior de la pila.

Figura 9. Medida de temperatura a un metro de profundidad

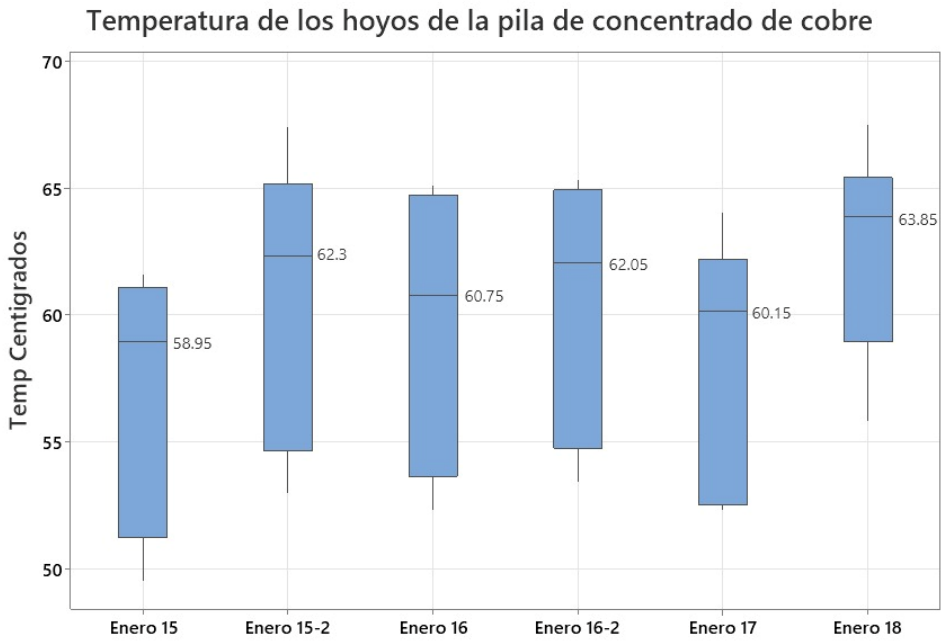

Figura 10. Temperatura de los hoyos de un metro de profundidad

5. Monitoreo de Gases

Se implementó la medición de gases dentro de la galera de almacenamiento, debido a la presencia de gases con contenido de azufre se incrementó la frecuencia de monitoreo, en la siguiente tabla se muestra los resultados de la presencia de Sulfuro de Hidrogeno.

Compuesto:	**H_2S** Sulfuro de Hidrogeno: niveles de concentración en partes por millón (ppm)				
Ubicación\Fecha	26/12/2023	03/01/2023	13/01/2023	17/01/2023	26/01/2023
SO (Superior Oeste)	2.9	1.3	1.2	1.5	0.6
SC (Superior Centro)	**57.4**	1.6	1.0	1.5	1.1
SE (Superior Este)	0.4	1.3	0.7	0.4	1.9
IO (Inferior Oeste)				0.8	0.3
IC (Inferior Centro)				0.9	0.2
IE (Inferior Este)				0.7	0.2
Nivel permisible para la salud	10				

Otro compuesto orgánico volátil que se encontró fue el Disulfuro de Carbono. El cual se reportó con alta concentración a finales de diciembre como muestra la siguiente tabla.

Compuesto:	Disulfuro de Carbono **CS_2**: niveles de concentración en partes por millón (ppm)				
Ubicación\Fecha	26/12/2023	3/1/2023	13/01/2023	15/01/2023	17/01/2023
SO (Superior Oeste)	**1.3**	0.5	0.4	0.2	0
SC (Superior Centro)	**8.5**	0.5	0.3	0.4	
SE (Superior Este)	0	0.4	0.2	0.5	
IO (Inferior Oeste)	0			0	
IC (Inferior Centro)	0	0.0	0.0		0.7
IE (Inferior Este)					0.8
Nivel permisible para la salud	1				

Debido a la alta concentración de estos gases tóxicos e inflamables identificados en diciembre, se tomaron las medidas de control para ventilar naturalmente la galera con el propósito de remover los gases emitidos por la pila de la galera través del flujo de aire, disminuyéndose dicha concentración en el interior. Las tablas muestran una disminución en la concentración de los gases, sin embargo, esta disminución en la

concentración no es indicativo de que la emanación de gases no esté ocurriendo, sino que es el resultado de las medidas de control tomadas para garantizar un ambiente más seguro dentro de la infraestructura y para evitar la acumulación de los gases. Las emisiones de gases van a continuar mientras el material se mantenga almacenado en la galera.

Esta ventilación natural para evitar la acumulación de gases dentro de la galera a su vez provoca que el concentrado siga perdiendo humedad incrementando el riesgo de dispersión de polvo de concentrado de cobre al exterior del almacén, lo que pudiera llevar a contaminación de agua superficiales y subterráneas debido a contacto con metales.

También se notó la presencia de algunos alcoholes como el Metil Pentanol y el Etil Hexanol evidenciando la disociación del agua y reacción del mineral.

Figure 11. Medición de gases en la pila de concentrado

6. Riesgos asociados a la salud y seguridad

- El gran volumen de la pila de concentrado con alturas de más de 12 metros genera el riesgo de atrapamiento debido a que el material apilado se sostiene por cohesión y humedad, al estar el material seco y sin cohesión genera inestabilidad de sus taludes, por lo que puede desprenderse, poniendo en riesgo la seguridad del personal y ambiente e integridad de equipos e infraestructuras.
- Almacenaje por tiempo prolongado de la pila generando incremento de la temperatura en todo el almacén, puede desplazar al aire y oxígeno, poniendo en riesgo de sofocación por calor al personal.
- Emanación de gases tóxicos como sulfuro de hidrógeno y Disulfuro de carbono pueden poner en riesgo de intoxicación por inhalación al personal
- El concentrado de partículas finas puede ser volante al no contar con humedad suficiente, este material puede ser inhalado, puede salir del almacén, generando impactos a la salud.
- Riesgo de ignición de la pila. La temperatura de la pila de concentrado de cobre continuara incrementando, producto de la reacción exotérmica interna, esto a su vez generara alta concentración de gases de azufre, y con la presencia de un agente reactor podría arder.

7. Riesgos asociados al Medio Ambiente.

- El material particulado y seco, debido al tiempo prolongado de almacenamiento y calentamiento de la pila puede incrementar la dispersión de partículas finas al ambiente impactando suelo y aire. Esto es particularmente relevante al momento de manipular el material para su reclamado y manejo en las bandas transportadoras ya que el proceso generaría mucho material particulado en suspensión.
- El Sulfuro de Hidrogeno, también conocido como ácido sulfhídrico, en contacto con agua puede generar lixiviados; contaminando aguas subterráneas e impactando el ambiente.

8. Riesgos para el material

- La presencia de gases con contenido de azufre evidencia la oxidación del material, el cual podría ser perjudicial para su procesamiento y refinación.
- Puede haber perdida de material debido al tiempo prolongado de almacenamiento y calentamiento puede incrementar la dispersión de partículas finas.
- La alta temperatura dentro de la pila y el material dificulta su capacidad de transporte y puede afectar los equipos de reclamado.
- Las altas temperaturas internas de la pila pueden exceder los límites operativos de las bandas transportadoras.

9. Conclusiones

Es de gran preocupación las más de 130.000 toneladas de concentrado almacenadas en la galera de concentrado de cobre. Este material debe trasladarse fuera de sitio ya que su almacenamiento a largo plazo crea riesgos ambientales y de seguridad, y complicaciones operativas, tales como:

- Riesgo de ignición de la pila: La temperatura de la pila de concentrado de cobre está aumentando debido a una reacción exotérmica dentro de la misma como resultado de su almacenamiento prolongado. Dicha temperatura seguirá incrementando, haciendo exponencial la tendencia de incremento de temperatura al sobrepasar los 100 grados centígrados. Entiéndase que una ignición bajo las condiciones de volumen excesivo es imposible de controlar dada la limitación de espacio para su manejo, en este momento la emanación de gases también incrementará.
- El almacenamiento por largos períodos también provoca la generación de gases que son un peligro latente a la salud, seguridad y medio ambiente, tales como el sulfuro de hidrógeno y disulfuro de carbono, que son gases tóxicos e inflamables. Las actividades vigentes de monitoreo de la pila de acopio como parte de las actividades de preservación han identificado la presencia de estos gases. Las medidas de control que se han tomado han reducido la acumulación de estos gases, mitigándose el riesgo para el personal. Sin embargo, continúa siendo una preocupación latente.
- El concentrado de cobre ya ha perdido significativamente su humedad esto provocará compactación en su interior, causando complicaciones en la recuperación (reclamado del material desde la cancha de almacenamiento) futura del concentrado que pueden provocar que sea necesario su reprocesamiento. Debido a la pérdida de humedad y a la necesidad de mantener la galera bajo ventilación natural, la generación de polvo de concentrado pudiese afectar el ambiente exterior.
- Los riesgos de tener esta cantidad de concentrado almacenado por largo tiempo no pueden ser eliminados. Con el paso del tiempo será más difícil cada vez tomar medidas de control efectivas para mitigar los riesgos asociados descritos en este documento.
- La medida más eficaz para eliminar los riesgos asociados a este inventario es su traslado y embarque hacia su destino de proceso lo antes posible.

10. ANEXOS

- Ficha de datos de seguridad del Concentrado de Cobre
- OSHA Ficha de hechos y Tabla de Efectos del H2S